

2.3 GHz 대역에서 단일 Half-LO 주파수를 이용한 Double-Conversion Down Mixer 설계

Design of Double-Conversion Down Mixer Using Single Half-LO Frequency at 2.3 GHz

김민석 · 문주영 · 윤상원

Min-Seok Kim · Ju-Young Moon · Sang-Won Yun

요약

본 논문에서는 Half-LO 주파수를 이용하는 새로운 방식의 double-conversion down mixer를 2.3 GHz 대역에서 설계하였다. 제안된 mixer에서는 Half-LO 주파수를 2개의 HEMT에 인가하여 두 HEMT에서의 변환 방식을 gate type과 resistive type으로 다르게 함으로서 IF 주파수를 얻게 된다. 기존의 sub-harmonic mixers와 같이 Half-LO 주파수를 사용하지만 제안된 mixer는 Half-LO의 second harmonic 성분을 이용하지 않고 Half-LO의 기본 주파수를 이용하여 주파수 변환을 하고 두 번째 HEMT에서 Resistive mixer type으로 IF 신호를 얻기 때문에 기존의 능동 mixer보다 향상된 선형성을 얻을 수 있다. 2.3 GHz 대역에서 설계 제작된 mixer는 Half-LO 전력 10 dBm을 이용하여 5 dB의 변환 손실과 16.25 dBm의 IIP3 특성을 얻을 수 있었다.

Abstract

In this paper, we designed the double conversion down mixer by using Half-LO frequency in 2.3 GHz band. The IF frequency is obtained by supplying two LO frequencies to HEMT in both gate type and resistive type. The proposed mixer uses Half-LO frequency the same way as conventional sub-harmonic mixers. However the proposed one uses fundamental component of Half-LO frequency in first stage instead of using second harmonic components of Half-LO frequency, and the IF frequency is obtained by resistive type mixer in second stage, thereby the proposed mixer can improve linearity in comparison with conventional active mixer. We can verify that the proposed mixer has an conversion loss of 5 dBm and IIP3 of 16.25 dBm by using 10 dBm Power.

Key words : Double Conversion Mixer, Sub-Harmonic Mixer, Resistive Mixer

I. 서론

최근 무선 통신에서 멀티미디어와 같은 초고속 대용량의 정보의 전송에 대한 수요가 빠르게 증가함에 따라 높은 주파수 대역에서 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 통신 서비스의 증가로 광대역을 수용할 수 있는 통신 시스템 장비에 대한 수요가 증가하

고 있다. 그러나 주파수가 높을수록 VCO의 제작이 어려우며 광대역 특성을 갖는 것 또한 어렵다^[1].

그리고 RF 수신단에서 mixer의 IM 성능은 수신단의 다른 구성 요소에 비해 떨어지며 가장 큰 신호 크기를 다룬다. 따라서 mixer의 IM 성능이 좋지 않을 경우, 수신단 전체의 IM 성능이 열화된다^[2].

위에서 언급한 수신단의 문제점을 해결하기 위해

「이 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 국방과학연구소의 연구비 지원으로 연구되었음.」
서강대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

· 논문 번호 : 20060526-03S

· 수정완료일자 : 2006년 7월 10일

본 논문에서는 Half-LO를 사용하는 double-conversion mixer의 방식에 resistive mixer를 접목함으로써 VCO의 성능 및 가변 범위에 대한 부담을 줄이고 IM 특성을 개선시키는 구조를 제안하였다.

II. 이론 및 설계

HEMT로 mixer를 설계할 때는 크게 gate mixer와 resistive mixer로 나뉜다. 먼저 gate mixer는 HEMT의 높은 비선형을 이용하여 변환 이득을 가지게 제작할 수 있다. HEMT에서는 높은 비선형 특성을 보이는 영역이 두 곳이 있는데 그림 1과 같이 gate pinch-off 전압에서 나타나는 gate 비선형 영역과 drain 전류 포화 영역에서 나타나는 drain 비선형 영역이다.

Gate mixer에서는 시변하는 transconductance $g_m(t)$ 가 주파수 변환에 중요한 역할을 하기 때문에 우수한 변환 이득을 얻기 위해서는 HEMT의 $g_m(t)$ 의 변화가 최대이어야 한다. 그래서 gate mixer는 V_p 근처의 V_{gs} 와 포화 영역의 V_{ds} 의 동작점을 이용해야만 한다^{[3],[4]}.

다음으로 resistive mixer는 매우 우수한 선형성을 갖는다. 그림 2와 같이 HEMT에서 낮은 drain과 소스 간의 전압에서 거의 선형적인 채널의 저항 특성을 LO 신호를 인가함으로써 변화시킬 수 있다. Gate 전압이 HEMT의 turn-on 전압인 V_t 밑으로 떨어질 때, 저항 값은 거의 무한대이다. Gate 전압이 최대값에 도달할 때 채널 저항 값은 매우 낮다.

그러나 drain은 바이어스 되지 않기 때문에 HEMT의 gate와 drain 사이의 커패시턴스 C_{gd} 값은 증폭기

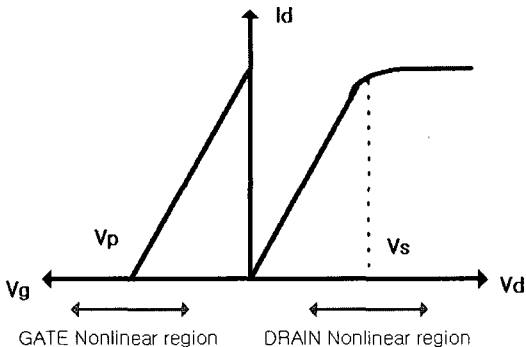


그림 1. HEMT의 비선형 구간
Fig. 1. Non-linear regions of HEMT.

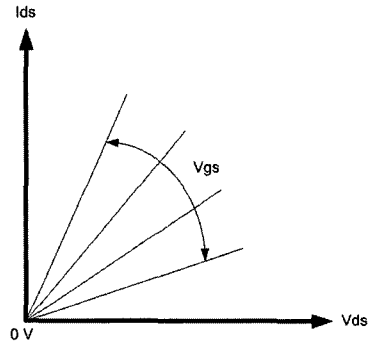


그림 2. HEMT의 저항 영역
Fig. 2. Resistive regions of HEMT.

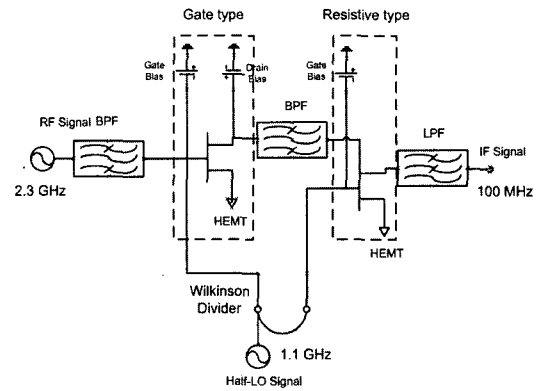


그림 3. 제작된 mixer 블록도
Fig. 3. Block diagram of the designed mixer.

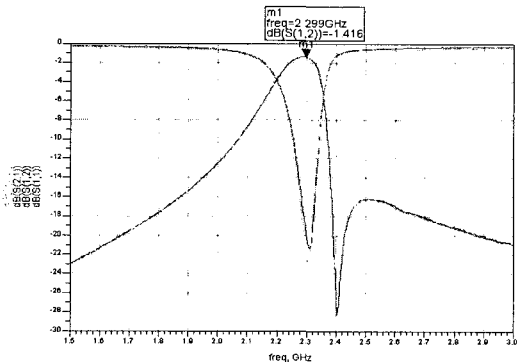
와 같은 일반적인 응용에서의 값보다 매우 크게 된다. 위에서 언급한 특성 때문에 저항성 HEMT 혼합기는 낮은 혼변조 왜곡 특성을 갖지만 좋지 않은 단자간 분리 특성을 갖는다^{[2],[5]}.

제안된 double conversion 구조는 그림 3과 같이 2개의 HEMT 소자와 3개의 여파기로 구성된다. 전력 분배기를 사용하여 분리한 RF 신호와 Half-LO 신호를 첫 번째 HEMT의 gate에 함께 인가하여 gate mixer로 동작시켜 변환 손실 특성을 향상시켰다.

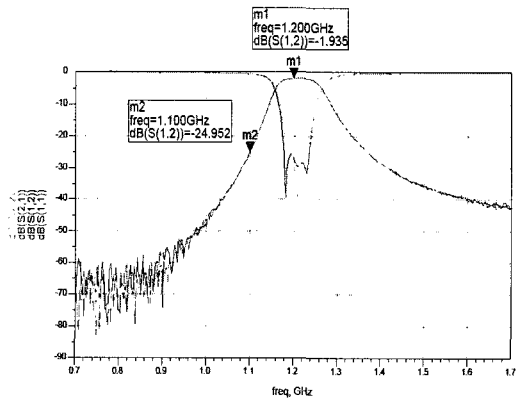
두 번째 HEMT의 바이어스 되지 않은 drain 단에 gate mixer로 변화되어진 2nd RF 신호를 인가하고 Half-LO 신호를 gate 단에 인가하여 resistive mixer로 동작시켜 IF 신호를 얻어냄으로써 선형성을 향상시켰다.

제안된 구조를 구성하고 있는 3개의 여파기는 mixer의 성능 향상과 원하지 않는 신호의 감쇄 그리

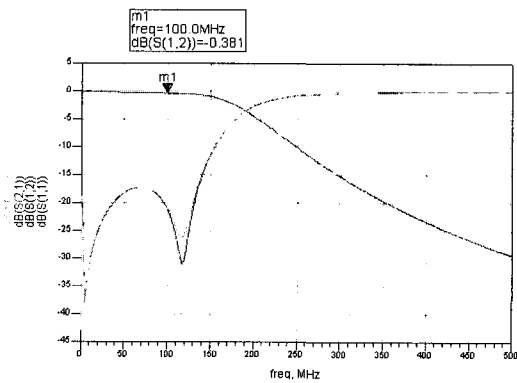
고 각 port 간의 좋은 분리도를 만족시키도록 설계하였다. 그림 4는 제작된 여파기의 특성으로 첫 번째



(a)



(b)



(c)

그림 4. (a) 제작된 1st RF 대역 통과 여파기, (b) 제작된 2nd RF 대역 통과 여파기, (c) 제작된 IF 저역 통과 여파기

Fig. 4. (a) The designed 1st RF bandpass filter, (b) The designed 2nd RF bandpass filter, (c) The designed IF lowpass filter.

대역 통과 여파기는 변환 손실 특성을 좋게 하기 위하여 LO와 RF 신호를 분리할 수 있도록 설계하였고 삽입 손실은 -1.5 dB이다. 두 번째 대역 통과 여파기는 선형성을 향상시키기 위해 최대한 두 번째 RF 신호와 근접하게 되는 Half-LO 신호가 되도록 분리할 수 있게 설계하였고 삽입 손실은 -2 dB이다. 그리고 저역 통과 여파기는 IF 신호만을 분리하기 위해 설계하였고 삽입 손실은 -0.3 dB이다^{[4],[7]}.

III. 제작 및 측정

그림 5와 같이 HEMT 소자인 ATF-34143을 이용하여 cascade로 연결하여 double-conversion down mixer를 제작했다. RF 주파수는 2.275 GHz~2.325 GHz에서 동작하게 설계하였고 10 dBm의 Half-LO 주파수 1.1 GHz를 이용하여 75 MHz~125 MHz의 IF 신호를 얻어냈다.

그림 6(a)는 $V_{gs2} = -1$ V, $V_{ds1} = 2$ V로 고정시키고 V_{gs2} 를 조절하면서 변환 손실과 IM 특성을 본 것이고 그림 6(b)는 $V_{gs1} = -0.8$ V, $V_{ds1} = 2$ V로 고정시키고 두 번째 HEMT의 gate 바이어스를 조절하면서 변환 이득과 IM 특성을 본 것이다.

그림 7은 그림 6의 V_{gs1} 과 V_{gs2} 를 변화시키며 얻은 결과에서 가장 좋은 IM 특성이 나타나는 영역에 바이어스를 잡고 LO 전력을 바꾸며 변환 손실과 IM 특성을 본 것이다.

그림 8은 그림 6, 그림 7의 결과를 바탕으로 $V_{ds1} = 2$ V, $V_{gs1} = -0.8$ V, $V_{gs2} = -1$ V, $P_{LO} = 10$ dBm를 인가하고 $P_{RF} = -15$ dBm으로 고정시킨 상태에서 제

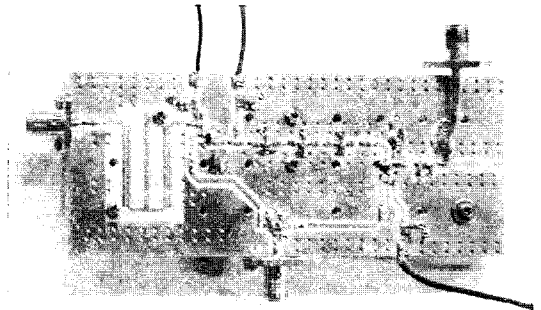
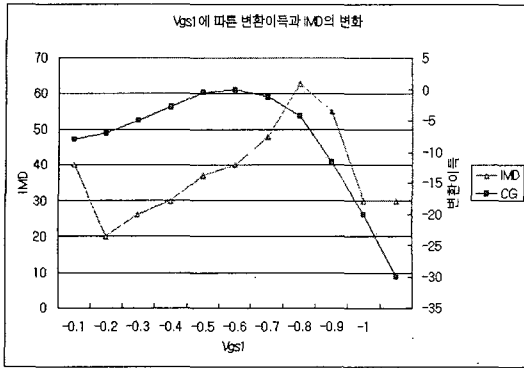
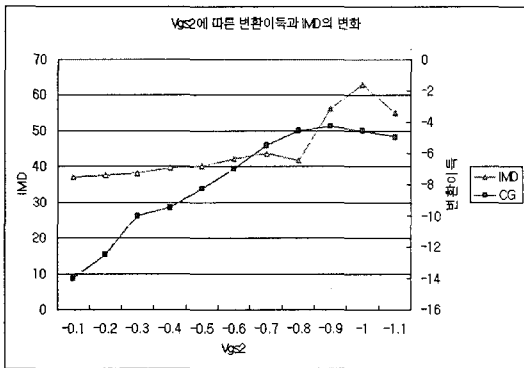


그림 5. 제작된 double conversion mixer 블록도
Fig. 5. Block diagram of the designed double conversion mixer.



(a)



(b)

그림 6. (a) V_{gs1} 에 따른 특성, (b) V_{gs2} 에 따른 특성
Fig. 6. (a) Characteristics according to V_{gs1} , (b) Characteristics according to V_{gs2} .

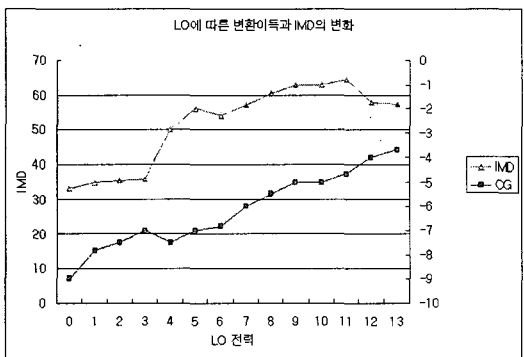


그림 7. LO에 따른 특성
Fig. 7. Characteristics according to LO.

작된 mixer의 특성이다. 그림 8의 결과와 double-conversion의 성능을 비교하기 위해 gate, resistive mixer들의 조합으로 이루어진 네 가지 형태의 mixer들을 비교하였다. 표 1은 $P_{LO}=10$ dBm으로 고정하

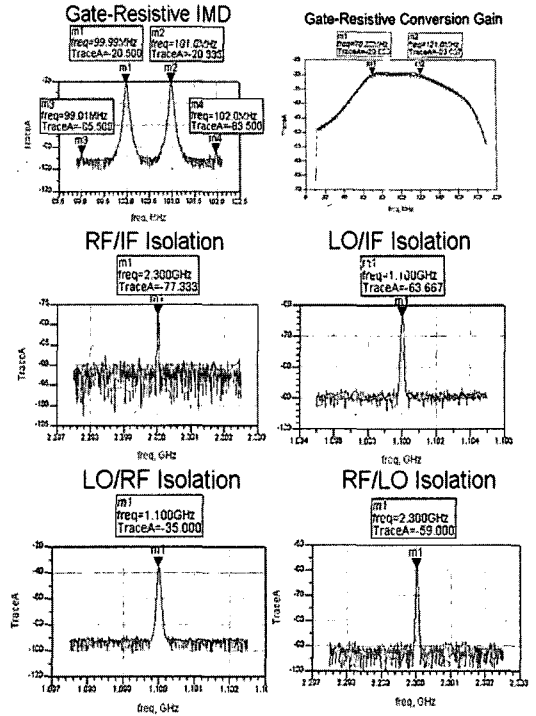


그림 8. 제작된 mixer 특성
Fig. 8. Characteristics of the designed mixer.

고 각 형태마다 최대 IM 특성이 나오는 바이어스 상태를 동작점으로 선택하였을 때의 각 형태의 mixer 특성이다. 표 2는 기준에 발표되어진 sub-harmonic mixer^{[5]-[7]}, 단일 FET mixer^{[2],[8]}와 제작된 mixer의 특성을 비교하였다.

표 1. Double-conversion mixer의 네 가지 형태 특성
Table 1. Characteristics to four type of double-conversion mixer.

	Gate-Resistive	Gate-Gate	Resistive-Gate	Resistive-Resistive
변환 이득 (dB)	-5	2	-3	-11
P1dB(dBm)	7	-5	4	14
IIP3(dBm)	16.25	2.34	8.16	23.67
LO/RF 분리도(dB)	-45	-45	-45	-45
RF/IF 분리도(dB)	-87	-87	-87	-87
LO/IF 분리도(dB)	-73	-73	-73	-73

표 2. 기존의 mixer와 성능 비교

Table 2. Comparison of performance with the conventional mixers.

	제작된 Mixer	[5]	[6]	[7]	[2]	[8]
RF (GHz)	2.3	2.14	1.95	1.9	10.3	2.315
LO (GHz)	1.1	1.065	0.88	0.9	8.8	2.175
LO (dBm)	10	0	0	0	10	2
변환 이득 (dB)	-5	0	14.8	7.5	-6.5	13.72
P1dB (dBm)	7	4	-1.9	-8	9.1	-10
IIP3 (dBm)	16.25	8.25	-15.3	-3	21.5	N/A
RF/IF 분리도(dB)	-87	N/A	N/A	N/A	N/A	-25
LO/IF 분리도(dB)	-73	N/A	N/A	N/A	N/A	-70.66
LO/RF 분리도(dB)	-45	-14	-47	N/A	N/A	-58.15

IV. 결 론

본 논문에서는 Half-LO를 사용한 double-conversion 방식을 사용하여 down mixer를 설계 및 제작하였다. 제작된 mixer는 5 dB의 변환 손실과 7 dBm의 P1dB, 16.25 dBm의 IIP3 그리고 -45 dB 이상의 각 port간 분리도를 갖고 있다. 제작된 mixer가 Half-LO 주파수를 사용하는 sub-harmonic mixer에 비해 선형성과 port간의 분리도에서 우수한 특성을 가지고 있다.

참 고 문 헌

[1] M. A. Do, R. Y. Zhao, and J. G. Ma, "New wide-

band/dualband LC voltage-controlled oscillator", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 150, pp. 453-459, Oct. 2003.

[2] Stephn A. Mass, "A GaAs MESFET mixer with very low intermodulation", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-35, pp. 425-429, Apr. 1987.

[3] R. A. Pucel, D. Masse, and R. Bera, "Performance of GaAs MeESFET mixers at X-band", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. 24, pp. 351-360, Jun. 1976.

[4] Stephen A. Maas, *Microwave Mixers*, Artech House, 1993.

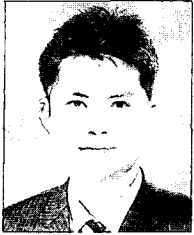
[5] Jeonpyo Kim, Jaehoon Choi, "Design of a resistive fet diect-conversion mixer with zero bias-current", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 42, no. 6, pp. 516-518, Sep. 2004.

[6] Kiran Nimmagadda, Gabriel M. Rebeiz, "A 1.9 GHz double-balanced subharmonic mixer for direct conversion receivers", *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium Dig.*, pp. 253-256, 2001.

[7] Masatoshi Nakayama, Ken-ichi Horiguchi, Kaxuya Yamamoto, Yutaka Yoshii, Shigeru Sugiyama, Norihiro Suematsu, and Tadashi Takagi, "A 1.9 GHz single-chip RF front-end GaAs MMIC with low-distortion cascode FET mixer for personal handy-phone system terminals", *IEEE MTT-S Dig.*, 1998.

[8] Dooyeong Yang, You Chung Chung, "Design and fabrication of a single-ended gate mixer for a down-converter in wireless applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 35, no. 3, Nov. 2002.

김민석



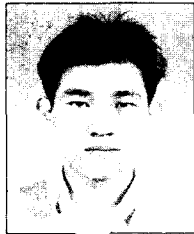
2005년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 초고주파 회로 설계

윤상원



1977년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1979년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1984년 2월: University of Texas at Austin (공학박사)
1988년 1월~12월: University of Texas at Austin 방문교수
1984년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 교수
[주 관심분야] 초고주파 및 밀리미터파 회로 설계, RF 시스템

문주영



2001년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)
2003년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
2003년 9월~현재: 서강대학교 전자공학과 박사과정
[주 관심분야] 밀리미터파 회로, RF

시스템